

16. Трехмерная лазерная запись на пленках аморфного кремния

А. А. Кутанов, Н. Сыдык уулу, И. А. Снимщиков, В. П. Макаров

Институт физико-технических проблем и материаловедения Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика

Представлены результаты трехмерной лазерной записи изображений на пленках аморфного кремния интерференционного фильтра сфокусированным излучением одномодового полупроводникового лазера с $\lambda = 405$ нм. Отлажена технология нанесения толстых пленок аморфного кремния толщиной 1–2 мкм методом магнетронного нанесения. Прямая лазерная запись проводилась на пленки аморфного кремния при изменении глубины фокуса записи в объеме регистрирующей среды. При локальном воздействии сфокусированным излучением на слой аморфного кремния наносекундными импульсами происходит его переход в кристаллическое состояние. За счет рассеяния света на оптических неоднородностях среды после лазерной записи и различной фазы рассеянных волн визуально можно наблюдать трехмерные сцены. Предложенный способ трехмерной лазерной записи на слое аморфного кремния a-Si привлекателен для создания 3D системы лазерной записи изображений и дот матрикс голограмм.

Ключевые слова: Трехмерная лазерная запись, Пленка аморфного кремния, Blu Ray лазер, Рэлеевское рассеяние, Точечные голограммы, 3D принтер.

Цитирование: Кутанов, А. А. Трехмерная лазерная запись на пленках аморфного кремния / А. А. Кутанов, Н. Сыдык уулу, И. А. Снимщиков, В. П. Макаров // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 71–73.

Введение

Прямая лазерная запись на слое аморфного кремния является привлекательной для записи дифракционных структур без мокрой химической обработки, и открывает новые возможности изготовления дифракционных структур с использованием лазерного записывающего устройства [1, 2, 4]. Один из простых применений дифракционных структур — это антиотражающие покрытия на основе субволновых решеток [3] с периодом около половины длины волны света. Применение сканирующих систем лазерной записи дифракционных элементов или голографического принтера [1–2, 5], формирующих дифракционные структуры путем последовательной записи небольших фрагментов или ячеек, привлекательно для получения дифракционных структур, дот матрикс голограмм, создания микро- и наноструктур с помощью лазерного излучения. С помощью разработанного устройства [5] микроструктурирование поверхности осуществляется путем последовательной записи микро решеток, сформиро-

ванных интерференцией двух когерентных сфокусированных лазерных пучков и регистрацией в записывающей среде.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование возможностей трехмерной лазерной записи в объеме толстой пленки аморфного кремния под действием наносекундных импульсов сфокусированного лазерного излучения. Исследование возможностей использования пленок аморфного кремния в качестве трехмерной среды для прямой лазерной записи и создания 3D системы лазерной записи.

1. Интерференционные фильтры со слоем a-Si и прямая запись на них Blu Ray лазером

Получены интерференционные спектральные фильтры на пленках аморфного кремния, структура которых приведена на рис. 1. Толщина пленки аморфного кремния d определяет центральную длину волны полосы пропускания такого фильтра. Интерференционные фильтры на пленках аморфного кремния отражают часть спектра падающего излучения, благодаря явлению многолучевой интерференции в тонких диэлектрических пленках. Исследована прямая лазерная запись

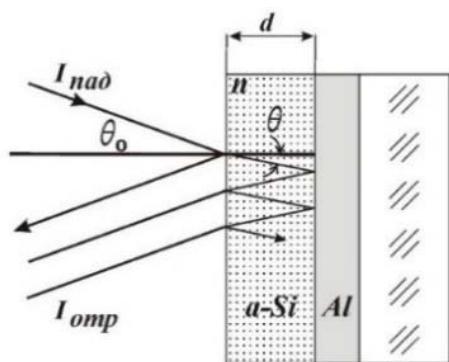


Рис. 1. Структура интерференционного фильтра со слоем a-Si

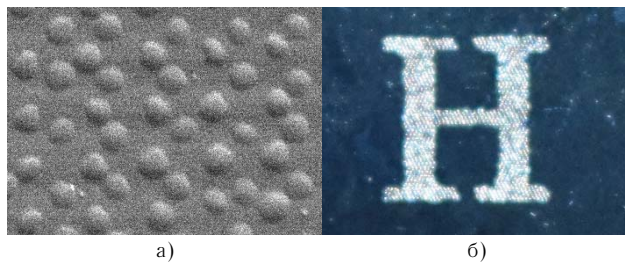


Рис. 2. Фотографии изображения записи буквы Н сфокусированным лазерным излучением с $\lambda = 405$ нм на слое a-Si интерференционного фильтра (а) и ее рельефной структуры (б) на a-Si, снятой на электронном сканирующем микроскопе

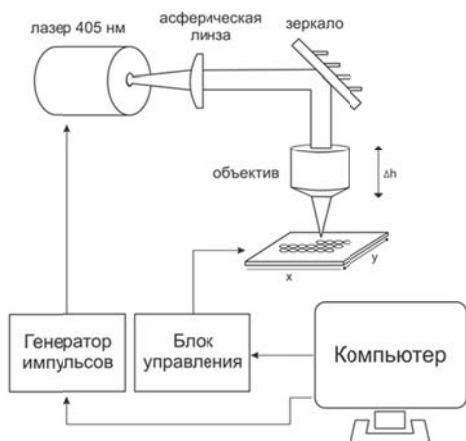


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

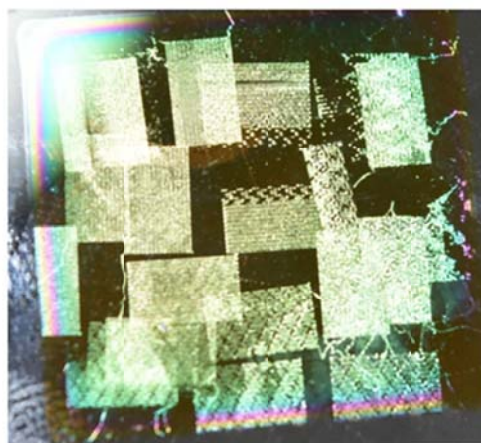


Рис. 4. Фотография 3D изображения записанного на пленке a-Si

на пленки a- кремния лазерным экспонирующим излучением с длиной волны $\lambda = 405$ нм (Blu Ray лазера) [6]. Для исследования прямой лазерной записи полупроводниковым Blu Ray лазером на аморфном кремнии использовался одномодовый Mitsubishi 120 mW лазер. Лазерный луч коллимировался с помощью асферической линзы после лазера, а затем он фокусировался микрообъективом на носитель записи. Длительность лазерных импульсов и их частота контролировалась от компьютера. На рис. 2а приведена фотография записанной с помощью одномодового Blu-Ray лазера на слое a-Si интерференционного фильтра латинской буквы Н специально для конференции HOLOEXPO.

При воздействии сфокусированным лазерным излучением на слой a-Si происходит локальное изменение пропускания и коэффициента преломления среды, формирование рельефа (рис. 2б). Таким образом, в месте воздействия лазерного излучения на слой a-Si интерференционного фильтра происходит нарушение действия многолучевой интерференции и тем самым появляется возможность записи контрастного изображения на фоне цвета фильтра (рис. 2а).

Измерение записанного рельефа на рис. 2б показывает, что при взаимодействии лазерного излучения на пленку аморфного кремния формируется рельеф высотой 30–100 нм. Недостатками использованного для экспериментов полупроводникового лазера являются: зависимость качества лазерного пучка от тока накачки и малая длина когерентности.

2. Эксперименты по трехмерной лазерной записи на пленках аморфного кремния

Эксперименты по трехмерной лазерной записи проводились на пленках аморфного кремния толщиной 1–2 мкм, полученных методом магнетронного нанесения. Для повышения контраста записываемого изображения в отраженном свете проводилась, также, запись на пленки аморфного кремния, нанесенные на тонкий металлический слой, предварительно нанесенный на стеклянную подложку с образованием интерференционного фильтра [4, 6].

На рис. 3 представлена схема экспериментальной установки. Для прямой записи на аморфном кремнии



а) изображение в первом порядке



б) изображение в нулевом порядке

Рис. 5. Фотографии изображения двух букв Н, записанной на поверхности (слева) и в объеме слоя аморфного (справа), и снятых в первом (а) и нулевом (б) порядке отраженного света

использовался одномодовый полупроводниковый лазер с $\lambda = 405$ нм мощностью 120 мВт. Лазерный пучок коллимировался асферической линзой, а затем фокусировался микрообъективом на регистрирующую среду. Глубина фокуса изменялась для записи отдельных фрагментов изображения. Перетяжка формируемого лазерного пучка позволяла сохранять необходимую плотность энергии записи на аморфном кремнии. Компьютер контролировал длительность лазерных импульсов, их частоту, и движение координатного стола. Для прямой лазерной записи использовались пленки аморфного кремния различной толщины ≈ 1 –2 мкм.

При взаимодействии сфокусированного лазерного луча на слой a-Si происходит локальная кристаллизация и формирование рельефной структуры [2, 6]. За счет рассеяния Рэлея на элементах трехмерной лазерной записи, можно визуально наблюдать трехмерное изображение за счет различной фазы рассеянных

волн от фрагментов записи на разной глубине регистрирующей среды (рис. 4) для источника света со сплошным спектром.

Визуально наблюдается одно изображение над другим (рис. 4) для прямой лазерной записи в толстых пленках аморфного кремния. Интенсивность рассеянного света пропорциональна концентрации плотности точечных элементов записи ($\approx N$).

На рис. 5 приведены фотографии изображения буквы Н, записанной на поверхности (слева) и в глубине слоя аморфного (справа), снятых в первом(а) и нулевом (б) порядке отраженного света.

При наблюдении в нулевом порядке отраженного света от поверхности слоя аморфного кремния изображение, записанное в глубине слоя аморфного кремния, становится скрытым. Таким образом, регистрация изображения в глубине слоя аморфного кремния может использоваться в качестве скрытого изображения для применений в области защиты от копирования.

Благодаря высокому разрешению записи с изменением показателя преломления и отсутствию мокрой химической обработки, прямая лазерная запись на пленках аморфного кремния является привлекательной для записи дифракционных структур, создания микро- и наноструктур с помощью сфокусированного лазерного излучения.

Заключение

Экспериментально показаны возможности использования пленок аморфного кремния в качестве трехмерной среды для оптической лазерной записи. Отлажена технология нанесения толстых пленок аморфного кремния толщиной 1–2 мкм методом магнетронного нанесения. Представлены результаты трехмерной лазерной записи изображений в объеме слоя аморфного кремния. Предложенный способ трехмерной лазерной записи на а-Si привлекателен для создания 3D принтера с записью изображений и дот матрикс голограмм.

Это делает привлекательным использование прямой лазерной записи на аморфном кремнии для приложений, обеспечивающих защиту от копирования. Прямая лазерная запись на слое а-Si интерференционного фильтра одномодовым Blu Ray лазером $\lambda = 405$ нм позволяет получать запись контрастных изображений. Разработанное устройство для записи дифракционных элементов и технология прямой записи на пленках аморфного кремния могут быть использованы для записи 3D изображений, дифракционных и голограммных структур.

Благодарность

Нурбек Сыдык уулу выражает признательность Всемирной Федерации ученых, Лозанна, Швейцария, за предоставление стипендии для молодых ученых на проведение исследований.

Список источников

- [1] **Poleshchuk, A. G.** Microstructuring of Optical Surfaces: Technology and Device for Direct Laser Writing of Diffractive Structures Optoelectronics / A. G. Poleshchuk, A. A. Kutanov et al. // Instrumentation and Data Processing. — 2010. — Vol. 46. — № 2. — P. 171–180.
- [2] **Кутанов, А. А.** Исследование лазерной записи на пленках аморфного кремния для интерференционной литографии // А. А. Кутанов, И. А. Снимщиков, Н. Сыдык уулу // Журнал Доклады НАН КР. — 2015. — № 2. — С. 19–26.
- [3] **Schopf, R. E.** Antireflective Submicrometer Surface-Relief Gratings for Solar Applications / R. E. Schopf, T. Hultsch, J. Lotz, et al. // Solar Energ. Mater. Solar Cells. — 1998. — № 54 (1). — P. 333–342
- [4] **Kutanov, A. A.** Direct Laser Recording on Amorphous Silicon Film / A. A. Kutanov, I. Snimshikov, N. Sydyk uulu // Physics Procedia. — 2015. — Vol. 73. — P. 82–86.
- [5] **Патент № 007874 Евраз.** Устройство для записи дифракционных элементов / А. Г. Поleshчук, А. А. Кутанов, В. П. Бесмельцев, И. А. Снимщиков. — Опубл. 2017. — Бюл. № 1.
- [6] **Kutanov, A. A.** Interference filter with amorphous silicon layer and direct laser recording on it / A. A. Kutanov, N. Sydyk uulu, I. Snimshikov, Z. M. Kazakbaeva // Journal of Physics: Conference Series. — 2016. — Vol. 737. — № 1 (012025).

3D Laser recording on amorphous silicon film

A. A. Kutanov, I. A. Snimshikov, N. Sydyk uulu, V. P. Makarov

Institute of Physical and Technical Problems and Material Science, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

The results of three-dimensional laser recording on the amorphous silicon film of the interference filter by focused radiation of a semiconductor laser with $\lambda = 405$ nm is demonstrated. The technology of depositing thick films of amorphous silicon with a thickness of 1–2 μm by magnetron deposition is debugged. Direct laser recording was carried out to the amorphous silicon film under change of the depth of the recording focus in the recording medium volume. Local amorphous silicon transition to a crystalline state occurs under interaction of focused radiation to a-Si layer with nanosecond pulses. Due to the light scattering on elements induced by direct laser recording on a-Si layer and different phase of the scattered waves, the three-dimensional scenes are well observed visually. This method of 3D laser recording on a-Si is attractive for creating a 3D image and dot hologram printer.

Keywords: 3D laser recording, Amorphous silicon film, Blu Ray laser, Rayleigh scattering, Dot holograms, 3D printer.